

铵(胺)盐对孔雀石硫化浮选行为的影响^{*}

蒋太国^{1,2}, 方建军^{1,2}, 毛莹博^{1,2}, 李国栋^{1,2}, 毕克俊^{1,2}

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室, 云南 昆明 65 0093)

摘 要:在容积为 50 mL 的 RK/FGC-50 挂槽式浮选机上进行了孔雀石硫化浮选试验,研究了不同铵(胺)盐活化剂对孔雀石硫化浮选行为的影响规律。结果表明:乙二胺磷酸盐、硫酸铵、碳酸氢铵、氯化铵、硝酸铵、氟化铵、碳酸铵均对孔雀石硫化浮选具有活化作用;用单一活化剂时效果最佳的是硫酸铵,用组合活化剂时乙二胺磷酸盐和碳酸氢铵组合效果最好,且组合活化剂活化效果优于单一活化剂。当 pH = 10,乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵用量为 $(1.0 \times 10^{-5} + 1.0 \times 10^{-4})$ mol/L,硫化钠用量为 5×10^{-4} mol/L,异戊基黄药用量为 1×10^{-3} mol/L 时,孔雀石的回收率为 67.67%,与直接硫化浮选法相比,回收率提高了 25%。

关键词:孔雀石;铵(胺)盐;活化剂;硫化浮选

中图分类号:TD952.1;TD923⁺.14 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0076(2015)04-0031-07

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2015.04.007

Impact of Ammonium (Amine) Salts on Behavior of Malachite Sulfide Flotation

JIANG Taiguo^{1,2}, FANG Jianjun^{1,2}, MAO Yingbo^{1,2}, LI Guodong^{1,2}, BI Kejun^{1,2}

(1 Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming 650093, China)

Abstract: Using several ammonium (amine) salt as activators, the sulfide flotation behaviors of malachite were studied in RK/FGC-50 groove type flotation machine. The results showed that ethylenediamine phosphate ammonium sulfate ammonium bicarbonate, ammonium chloride, ammonium nitrate, ammonium fluoride, ammonium carbonate had activation on sulfide flotation of malachite.

When using single activator, the performance of ethylenediamine phosphates was the best, when using a composite one, the performance of ethylenediamine phosphate and ammonium bicarbonate combination was the best. The activation effect of composite activator was better than that of single.

When the pH = 10, ethylenediamine phosphate and ammonium bicarbonate were combined with the molar mass ration of 1 : 10 and the dosage was 1.1×10^{-4} mol/L, The dosage of sodium sulphide was 5×10^{-4} mol/L and isoamyl xanthate dosage was 1×10^{-3} mol/L, the malachite were gained with the recovery of 67.67%. Compared to the direct sulfide flotation, the recovery was increased by 25%.

Key words: malachite; ammonium (amine) salts; activator; sulfide flotation

^{*} 收稿日期:2015-07-15

基金项目:国家自然科学基金项目(51364017)

作者简介:蒋太国(1989-),男,湖南邵阳市人,在读硕士研究生,主要从事浮选理论与工艺等方面的研究。

通讯作者:方建军(1968-),男,四川岳池市人,副教授,主要从事资源综合利用及浮选理论与工艺等研究,联系方式:

ruiyuanju@126.com。

随着我国经济的高速发展,铜资源供求矛盾突出。在我国,已探明的铜矿资源存在着贫矿多、富矿少等特点,占总储量一半以上的铜矿资源品位在 0.7% 以下^[1-3]。随着铜矿资源的不断开发利用,易处理资源量不断减少,难处理资源比例不断增大,尤其是难处理氧化铜矿资源保有一定储量^[4-5]。硫化黄药浮选法是处理氧化铜矿的主要工艺,活化剂对氧化铜矿硫化浮选的作用不能忽视大量的试验和生产实践结果证明,有机胺盐与无机铵盐及其组合药剂都是氧化铜矿硫化浮选的有效活化剂。东川矿务局中心试验所^[6-9]研究发现乙二胺磷酸盐是难处理氧化铜矿的一种良好的活化剂,在低用量情况下对难处理氧化铜矿的硫化浮选具有很强的活化作用。张文彬^[10-11]研究表明,硫酸铵能有效活化氧化铜矿,但对硫化铜矿物具有一定的抑制作用。杨瑞瑛^[12]研究表明,对难处理氧化铜矿的硫化浮选,硫酸铵和磷酸乙二胺组合活化剂的加入,可显著提高铜精矿指标。蒋太国等^[13-16]研究表明,对于难处理氧化铜矿的硫化浮选,铵胺组合活化剂活化效果优于单一活化剂,提出了铵胺耦合硫化浮选的观点。鉴于无机铵盐和有机胺盐都能活化氧化铜矿石的浮选,本文以孔雀石为研究对象,详细研究了铵(胺)盐对孔雀石硫化浮选行为的影响。

1 试验材料及试验方法

1.1 试验材料

孔雀石取自云南东川,含铜 56.50%,经手选挑纯,研磨至 -0.074 mm ,再经蒸馏水多次清洗自然晾干后作为试验用的矿样。

试验所用的硫化钠($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)、碳酸氢铵为分析纯,乙二胺磷酸盐是实验室自配的试剂,异戊基黄药为化学纯,调 pH 所用酸碱为硫酸和氢氧化钠。

1.2 试验方法

浮选试验在容积为 50 mL 的 RK/FGC-50 挂槽式浮选机上进行,浮选机转速 $1\ 250\text{ r/min}$,浮选温度 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 。每组试验称取 3 g 矿样置于浮选槽中,添加 30 mL 去离子水,搅拌调浆 2 min 后,依次加入药剂,各药剂加入后均搅拌 3 min,浮选时间为 5 min,浮选过程采用手工刮泡,浮选结束后将精矿、尾矿采用抽滤瓶过滤,然后放于 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 的烘箱内烘干,最后,称重并计算回收率。试验流程如图 1 所示。

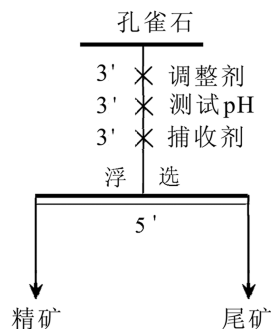


图 1 单矿物浮选流程

2 试验结果与讨论

2.1 硫化钠用量对孔雀石可浮性的影响

在自然 pH 下,固定异戊基黄药用量为 $1 \times 10^{-3}\text{ mol/L}$,2 号油用量为 $2.5 \times 10^{-4}\text{ mol/L}$ 时,考察硫化钠用量对孔雀石可浮性的影响。试验结果如图 2 所示。

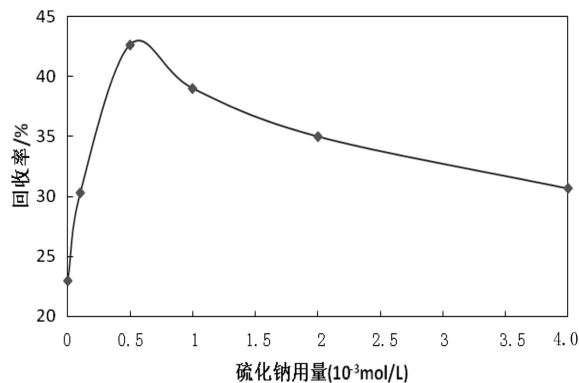


图 2 硫化钠用量对孔雀石可浮性的影响

从图 2 可以看出,在不加硫化钠的情况下,孔雀石的回收率只有 23%,随着硫化钠用量的增加,孔雀石表面从亲水状态逐渐过渡到疏水状态,其回收率不断增加,在 $5 \times 10^{-4}\text{ mol/L}$ 左右时回收率达到最高值 42.67%,继续增大硫化钠用量,会强烈抑制孔雀石的浮选。

2.2 pH 对孔雀石可浮性的影响

固定硫化钠用量为 $5 \times 10^{-4}\text{ mol/L}$,异戊基黄药用量为 $1 \times 10^{-3}\text{ mol/L}$,2 号油用量为 $2.5 \times 10^{-4}\text{ mol/L}$ 时,考察 pH 对孔雀石可浮性的影响。试验结果如图 3 所示。

从图 3 可以看出,在 pH 4~12 范围内孔雀石的回收率随着 pH 值增大先升高后降低,在 pH = 10

时,回收率达到最大值 43.33%。酸性和强碱性条件下不利于孔雀石的浮选。

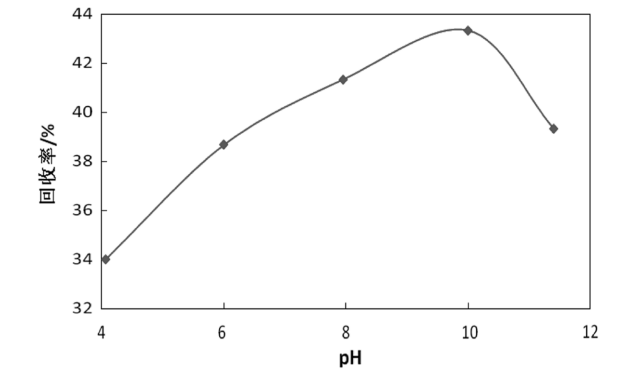


图 3 pH 对孔雀石可浮性的影响

2.3 异戊基黄药用量对孔雀石可浮性的影响

固定 pH = 10、硫化钠用量为 5×10^{-4} mol/L,2 号油用量 2.5×10^{-4} mol/L 时,考察戊基黄药用量对孔雀石可浮性的影响。试验结果如图 4 所示。

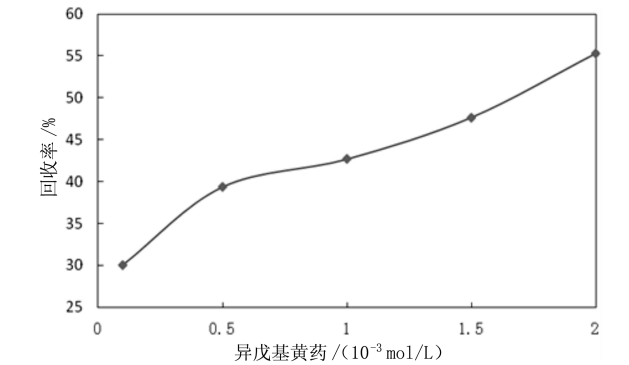


图 4 异戊基黄药用量对孔雀石可浮性的影响

从图 4 可以看出,随着异戊基黄药用量的增加,孔雀石的回收率不断增加,与图 2 中的未加硫化钠,异戊基黄药用量为 1×10^{-3} mol/L 时相比,浮选效果得到明显的改善,说明预先硫化可以提高孔雀石的浮选指标。

2.4 活化剂对孔雀石可浮性的影响

为了提高孔雀石的可浮性,本试验采用乙二胺磷酸盐、硫酸铵、碳酸氢铵、氯化铵、硝酸铵、氟化铵、碳酸铵、磷酸氢二铵以及组合药剂作为活化剂,硫化钠作为硫化剂,异戊基黄药为捕收剂,系统研究了铵、胺盐及铵-胺组合药剂对孔雀石硫化浮选行为的影响。试验固定条件为:pH = 10,硫化钠用量为 5

$\times 10^{-4}$ mol/L,异戊基黄药用量为 1×10^{-3} mol/L,2 号油用量为 2.5×10^{-4} mol/L。

2.4.1 单一活化剂用量试验

(1) 乙二胺磷酸盐用量对孔雀石可浮性的影响
对乙二胺磷酸盐进行了用量试验,考察了其 对孔雀石可浮性的影响。试验结果见图 5。

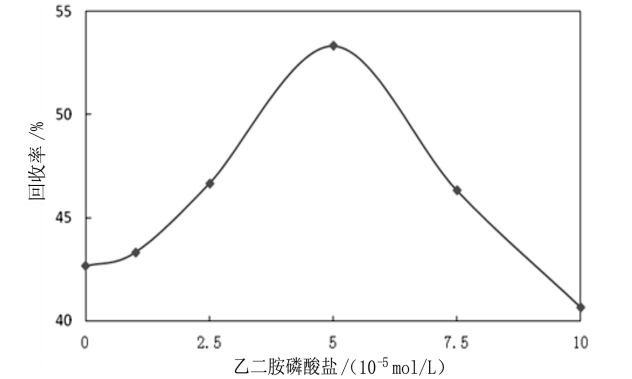


图 5 乙二胺磷酸盐用量对孔雀石可浮性的影响

从图 5 可以看出,孔雀石的回收率随着乙二胺磷酸盐用量的增加先升高再降低。在乙二胺磷酸盐用量为 5×10^{-5} mol/L 时,达到最大值 53.33%,与直接未加活化剂相比,孔雀石的回收率提高了 10.66 个百分点。可见,乙二胺磷酸盐对孔雀石有较好的活化作用,但过量时会对其产生抑制效果。

(2) 无机铵盐用量对孔雀石可浮性的的影响

对硫酸铵、碳酸氢铵、氯化铵、硝酸铵、氟化铵、碳酸铵和磷酸氢二铵等五种无机铵盐分别进行了用量试验,考察了其用量对孔雀石可浮性的影响。试验结果见图 6 与图 7。

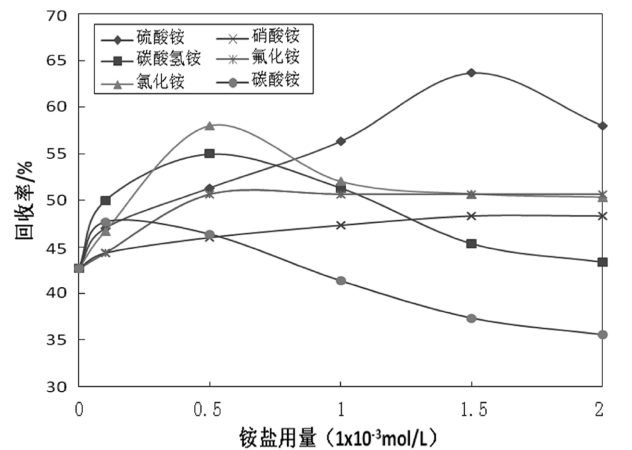


图 6 无机铵盐用量对孔雀石可浮性的影响

由图 6 可以看出,孔雀石的回收率随着硫酸铵用量的增加而大幅提高,硫酸铵的用量从 0 增加到 1.5×10^{-3} mol/L 时,孔雀石的回收率从 42.67% 提高到 63.67% 其回收率提高了 21 个百分点,但继续增加用量时,其回收率反而降低了。可见,硫酸铵能明显改善孔雀石的可浮性

随着碳酸氢铵用量的增加,孔雀石的回收率现增加后降低,在其用量为 5×10^{-4} mol/L 时,孔雀石的回收率达到最大值 55%,与未加活化剂相比,孔雀石的回收率提高了 12.33 个百分点;与乙二胺磷酸盐相比,碳酸氢铵用量较大。

随着氯化铵用量的增加,孔雀石的回收率先增加后降低。当其用量在 1.5×10^{-3} mol/L 到 2×10^{-3} mol/L 范围内,孔雀石的回收率基本保持不变;当其用量为 5×10^{-4} mol/L 左右时,孔雀石的回收率达到最高值 58%,与直接硫化黄药浮选法相比,回收率提高了 15.33 个百分点。可见,氯化铵对孔雀石有良好的活化效果。

随着硝酸铵用量的增加,孔雀石的回收率先增加,当硝酸铵用量达到 15×10^{-3} mol/L 时,继续增加用量,其回收率基本保持不变。当其用量为 1.5×10^{-3} mol/L 左右时,孔雀石的回收率达到最高值 48.33%,与直接硫化黄药浮选法相比,回收率提高了 5.66 个百分点。可见,硝酸铵对孔雀石有较好的活化效果。

随着氟化铵用量的增加,孔雀石的回收率先增加,当氟化铵用量达到 0.5×10^{-3} mol/L 左右时,继续增加用量,其回收率基本保持不变。当其用量为 0.5×10^{-3} mol/L 左右时,孔雀石的回收率达到最高值 50.67%,与直接硫化黄药浮选法相比,回收率提高了 8 个百分点。可见,氟化铵能有效活化孔雀石。

随着碳酸铵用量的增加,孔雀石的回收率先增加后降低,当其用量为 1×10^{-4} mol/L 左右时,孔雀石的回收率达到最高值 47.67%,与直接硫化黄药浮选法相比,回收率提高了 5 个百分点。可见,碳酸铵对孔雀石有较好的活化效果。

由图 7 可知,随着磷酸氢二铵用量的增加,孔雀石的回收率逐渐降低,当其用量为 25×10^{-6} mol/L 左右时,孔雀石的回收率达到最低值 26.67%,继续增加用量,孔雀石的回收率不再降低。可见,磷酸氢二铵对孔雀石没有活化作用,只有抑制作用,而且在低用量的情况下就能表现出明显的抑制效果。

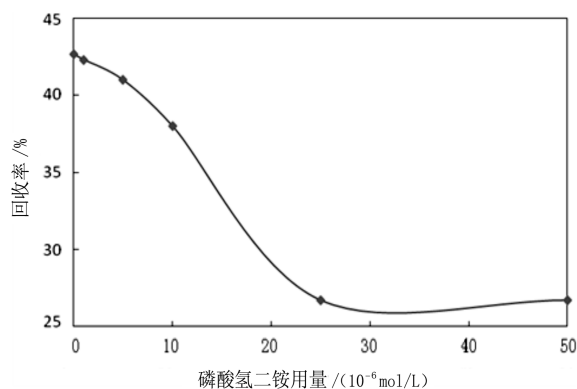


图 7 磷酸氢二铵用量对孔雀石可浮性的影响

通过铵(胺)盐用量试验结果表明,上述八种铵(胺)盐除磷酸氢二铵外均对孔雀石有较好的活化效果。在铵(胺)盐的最佳用量下,其活化效果由高到低的药剂排序依次为:硫酸铵 > 氯化铵 > 碳酸氢铵 > 乙二胺磷酸盐 > 氟化铵 > 硝酸铵 > 碳酸铵 > 磷酸氢二铵。因此,试验将通过两种及两种以上的有机胺盐与无机胺盐的组合药剂进行试验研究考察无机与有机胺(铵)盐之间是否具有协同作用。

2.4.2 组合活化剂对孔雀石可浮性的影响

在浮选体系中,具有相同作用的两种及其两种以上药剂之间存在的相互作用,即可称为药剂之间具有协同效应。协同效应有正协同效应、负协同效应以及零协同效应之分。组合捕收剂、组合抑制剂及组合起泡剂等在生产实践以及科研领域都得到广泛应用,但有机与无机活化剂的组合使用还未见先例。为了查明胺盐与铵盐之间具有何种协同效应,对铵(胺)盐组合活化剂进行了试验研究。

(1) 组合活化剂种类对孔雀石可浮性的影响

本试验采用乙二胺磷酸盐与硫酸铵、氯化铵、碳酸氢铵、氟化铵、硝酸铵以及碳酸铵的胺-铵组合药剂进行试验。考察铵(胺)盐组合药剂种类对孔雀石可浮性的影响。试验结果见表 1。

表 1 试验结果表明,胺铵组合药剂的活化效果比单一胺(铵)活化效果明显,与直接硫化浮选法相比,能显著提高孔雀石的回收率,说明了胺(铵)盐的组合使用表现为正协同效应。

通过胺(铵)盐组合试验结果表明胺(铵)盐组合药剂均对孔雀石有明显的活化效果。其活化效果由高到低依次为:乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 > 乙二胺磷酸盐 + 硫酸铵 > 乙二胺磷酸盐 + 氯化铵 > 乙二

胺磷酸盐 + 氯化铵 > 乙二胺磷酸盐 + 硝酸铵 > 乙二胺磷酸盐 + 碳酸铵。因此,选用乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵作为组合活化剂。

表 1 组合活化剂种类对孔雀石可浮性影响试验结果		
组合药剂及用量/(mol• L ⁻¹)	回收率/%	
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 1.5 × 10 ⁻⁴	63.67
乙二胺磷酸盐 + 硫酸铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 1.5 × 10 ⁻⁴	62.67
乙二胺磷酸盐 + 氯化铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 1.5 × 10 ⁻⁴	60.00
乙二胺磷酸盐 + 硝酸铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 1.5 × 10 ⁻⁴	59.67
乙二胺磷酸盐 + 氟化铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 1.5 × 10 ⁻⁴	61.33
乙二胺磷酸盐 + 碳酸铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 1.5 × 10 ⁻⁴	58.33
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 + 硫酸铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 0.75 × 10 ⁻⁴ + 0.75 × 10 ⁻⁴	60.67
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 + 氯化铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 0.75 × 10 ⁻⁴ + 0.75 × 10 ⁻⁴	61.67
乙二胺磷酸盐 + 硫酸铵 + 氯化铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 0.75 × 10 ⁻⁴ + 0.75 × 10 ⁻⁴	62.33

(2)组合活化剂用量对其组合效果优化的影响

组合药剂协同效应的发挥与药剂配比息息相关。本试验选用乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵作为组合活化剂,考察该组合药剂的组合比例以及药剂用量对孔雀石硫化浮选行为的影响,试验结果如表 2 所示。

表 2 组合活化剂用量对其组合效果优化的影响		
组合药剂及用量/(mol• L ⁻¹)	回收率/%	
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 0.5 × 10 ⁻⁴	59.33
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 1.0 × 10 ⁻⁴	64.33
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 1.5 × 10 ⁻⁴	63.67
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 3.0 × 10 ⁻⁴	62.33
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 6.0 × 10 ⁻⁴	49.67
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	0.5 × 10 ⁻⁵ + 1.0 × 10 ⁻⁴	59.67
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	1.0 × 10 ⁻⁵ + 1.0 × 10 ⁻⁴	67.67
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	2.5 × 10 ⁻⁵ + 1.0 × 10 ⁻⁴	55.67

由表 2 可知,当组合活化剂的用量为乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 (1.0 × 10⁻⁵ + 1.0 × 10⁻⁴) mol/L,摩尔质量比为 1 : 10 时,活化效果最好,孔雀石的回收率为 67.67%。与直接硫化浮选法相比,回收率提高了 25 个百分点。此外无论是单一的降低或者升高乙二胺磷酸盐还是碳酸氢铵的用量,孔雀石的回收率都降低。

(3)活化剂添加顺序对其组合效果优化的影响

在生产实践中,药剂的添加方式有多种,但组合用药与单独用药的不同之处主要是药剂的添加顺

序,因为药剂单独使用时无所谓添加顺序,只有存在两种及两种以上组合药剂同时使用才存在添加顺序问题。为了考察胺铵组合活化剂的最佳活化效果,本试验选用乙二胺磷酸盐和碳酸氢铵,进行了活化剂添加顺序试验。试验固定条件为:pH = 10,乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 (1.0 × 10⁻⁵ + 1.0 × 10⁻⁴) mol/L,硫化钠用量为 5 × 10⁻⁴ mol/L,异戊基黄药用量为 1 × 10⁻³ mol/L,2 号油用量为 2.5 × 10⁻⁴ mol/L。试验结果如表 3 所示。

表 3 活化剂添加顺序对组合效果优化的影响试验结果		
组合药剂加药顺序/(mol• L ⁻¹)	回收率/%	
乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 + 硫化钠	67.33	
乙二胺磷酸盐 + 硫化钠 + 碳酸氢铵	63.67	
碳酸氢铵 + 乙二胺磷酸盐 + 硫化钠	64.33	
碳酸氢铵乙 + 硫化钠 + 二胺磷酸盐	65.33	
硫化钠 + 乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵	62.67	
硫化钠 + 碳酸氢铵 + 乙二胺磷酸盐	66.00	
乙二胺磷酸盐、碳酸氢铵 + 硫化钠	66.67	
硫化钠 + 乙二胺磷酸盐、碳酸氢铵	65.67	

从表 3 可以看出,不论是先加乙二胺磷酸盐还是先加碳酸氢铵或者是在两者之前或者之间加入硫化钠,还是胺铵盐混合添加,都能表现去明显的活化效果。

但是混合添加活化效果没有按顺序单一添加的好。最优的添加方式是乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 + 硫化钠,其活化效果最好,孔雀石的回收率达到 67.33%。

(4)组合活化剂作用方式对其组合效果优化的影响

为了探索胺铵组合活化剂在孔雀石硫化浮选过程中的作用机理,设计了 A、B、C、D、E 五种流程进行对比,如图 8 所示。A 流程:乙二胺磷酸盐与孔雀石作用后去除矿浆中的乙二胺磷酸盐后再加碳酸氢铵进行硫化浮选;B 流程:乙二胺磷酸盐和碳酸氢铵与孔雀石作用后去除矿浆中的乙二胺磷酸盐和碳酸氢铵后硫化浮选;C 流程:乙二胺磷酸盐、碳酸氢铵和硫化钠与孔雀石作用后去除矿浆中的胺铵盐和硫化钠后加黄药进行浮选;D 流程:乙二胺磷酸盐和碳酸氢铵分别与孔雀石作用后均去除矿浆中的乙二胺磷酸盐和碳酸氢铵后硫化浮选;E 流程:乙二胺磷酸盐、碳酸氢铵和硫化钠分别与孔雀石作用后均去除矿浆中的胺铵盐和硫化钠后加黄药进行浮选。试验固定条件为:pH = 10,乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 (1.0 ×

$10^{-5} + 1.0 \times 10^{-4}$) mol/L, 硫化钠用量为 5×10^{-4} mol/L, 异戊基黄药用量为 1×10^{-3} mol/L, 2 号油用量为 2.5×10^{-4} mol/L。试验结果如表 4 所示。

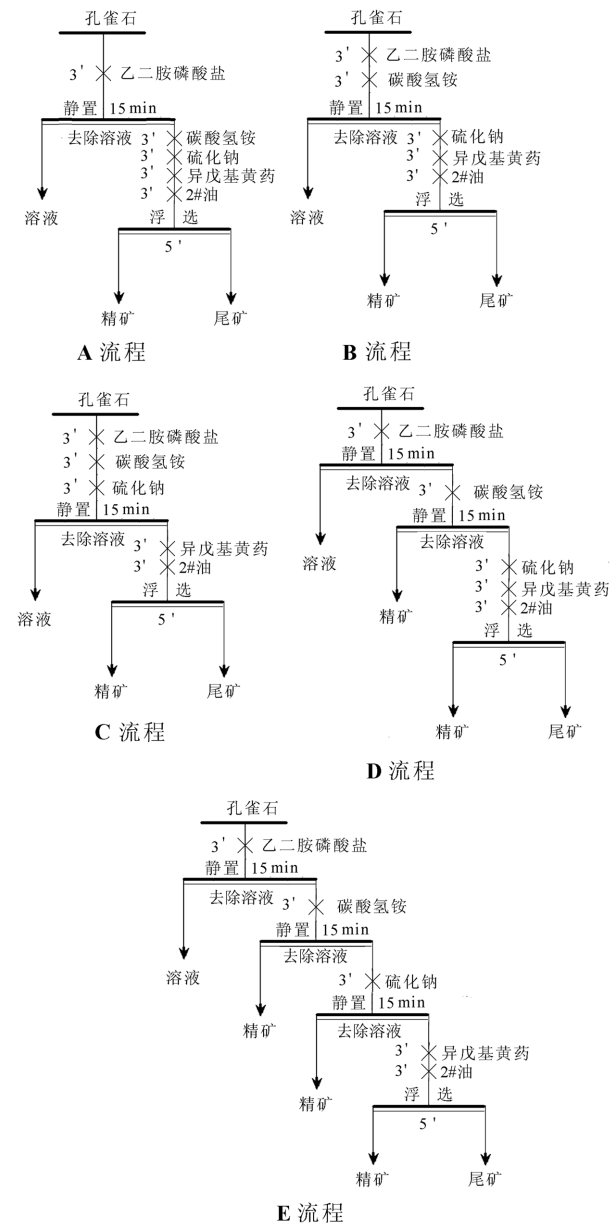


图 8 五种去除胺铵盐对比流程

表 4 组合活化剂作用方式对其组合效果优化的影响

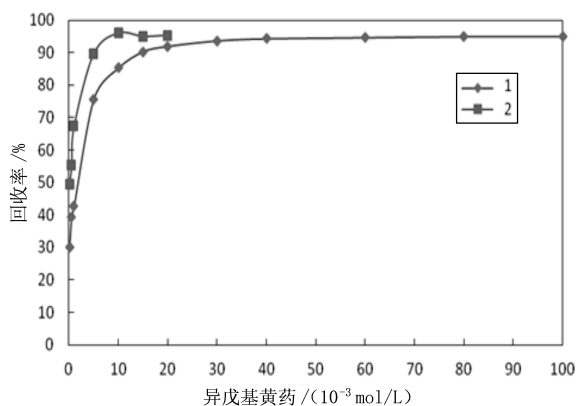
流程	A	B	C	D	E
回收率/%	50.67	51.00	67.00	41.33	62.00

从表 4 可以看出, 乙二胺磷酸盐与孔雀石单独作用不能有效活化孔雀石; 碳酸氢铵无论是单独还是和乙二胺磷酸盐共同和孔雀石作用, 只有与硫化

钠共同作用才能有效活化孔雀石, 但表现出的活化效果是单一性的, 没有像组合胺铵盐作用那样表现出叠加性的活化效果, 只能体现出碳酸氢铵单独作用时的活化效果; 组合胺铵盐单独与孔雀石作用, 不与硫化钠共同作用, 不能有效活化孔雀石; 组合胺铵盐只有与硫化钠共同作用, 才能表现出明显的活化作用, 表现出的活化效果具有叠加性; E 流程组合胺铵盐单独与孔雀石作用, 并且不与硫化钠共同作用, 也能表现出较好的活性作用, 表现出的活化效果也具有一定的叠加性, 这可能是因为硫化钠单独与孔雀石作用时, 消除了矿泥的覆盖作用, 促进了捕收剂在孔雀石颗粒表面的吸附。

2.5 组合活化剂对异戊基黄药用量优化的影响

为了进一步提高孔雀石的可浮性, 并找出异戊基黄药对组合活化剂最佳组合优化效果以及药剂组合的效益, 考察了异戊基黄药用量对组合活化剂组合优化效果的影响。试验固定条件为: pH = 10, 乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 ($1.0 \times 10^{-5} + 1.0 \times 10^{-4}$) mol/L, 硫化钠用量为 5×10^{-4} mol/L, 异戊基黄药用量为变量, 2 号油用量为 2.5×10^{-4} mol/L。试验结果如图 9 所示。



1—乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 (0 + 0) mol/L
2—乙二胺磷酸盐 + 碳酸氢铵 ($1.0 \times 10^{-5} + 1.0 \times 10^{-4}$) mol/L
图 9 组合活化剂对异戊基黄药用量优化的影响

从图 9 可以看出, 无论是否添加组合药剂, 孔雀石的回收率都是随着异戊基黄药用量的增加先增加后几乎保持不变; 未添加组合胺铵盐, 孔雀石的回收率最高达到 95%, 此时异戊基黄药的用量为 80×10^{-3} mol/L, 添加组合胺铵盐, 孔雀石的回收率高达 96%, 此时异戊基黄药的用量为 10×10^{-3} mol/L, 与

直接硫化黄药浮选法相比,孔雀石的回收率提高了1个百分点,但异戊基黄药用量却节省了87.5%;在异戊基黄药低用量的情况下,胺铵组合药剂的活化效果表现明显,在异戊基黄药高用量的情况下,其活化效果不怎么明显;胺铵组合活化剂表现最佳组合优化效果时异戊基黄药的用量为 10×10^{-3} mol/L,此时孔雀石的回收率高达96%,与直接硫化黄药浮选法相比,回收率提高了10.67个百分点。

试验结果表明:组合胺铵盐的添加不仅提高了孔雀石的回收率,而且降低了药剂消耗量,具有可观的经济效益。

3 结论

(1)乙二胺磷酸盐、硫酸铵、碳酸氢铵、氯化铵、硝酸铵、氟化铵、碳酸铵和磷酸氢二铵这八种胺(铵)盐除磷酸氢二铵外均对孔雀石有较好的活化效果。在铵(胺)盐的最佳用量下,其活化效果由高到低的药剂排序依次为:硫酸铵>氯化铵>碳酸氢铵>乙二胺磷酸盐>氟化铵>硝酸铵>碳酸铵>磷酸氢二铵。

(2)胺铵组合药剂的活化效果均比单一铵(胺)盐活化效果明显,表现为正协同效应。其活化效果由高到低依次为:乙二胺磷酸盐+碳酸氢铵>乙二胺磷酸盐+硫酸铵>乙二胺磷酸盐+氯化铵>乙二胺磷酸盐+硝酸铵>乙二胺磷酸盐+碳酸铵。

(3)胺铵组合活化剂的最佳组合为乙二胺磷酸盐+碳酸氢铵($1.0 \times 10^{-5} + 1.0 \times 10^{-4}$) mol/L,摩尔质量比为1:10。当硫化钠用量为 5×10^{-4} mol/L,异戊基黄药用量为 1×10^{-3} mol/L,2号油用量为 2.5×10^{-4} mol/L时,孔雀石的回收率为67.67%,与直接硫化浮选法相比,回收率提高了25个百分点。

(4)最终确定的药剂制度:pH=10,乙二胺磷酸盐+碳酸氢铵($1.0 \times 10^{-5} + 1.0 \times 10^{-4}$) mol/L,硫化钠用量为 5×10^{-4} mol/L,异戊基黄药用量为 10×10^{-3} mol/L,2号油用量为 2.5×10^{-4} mol/L,此时孔雀石的回收率高达96%,与相同用量的直接硫化黄药浮选法相比,回收率提高了10.67个百分点。与未添加组合胺铵盐,孔雀石的最高回收率95%相

比,回收率提高了1个百分点,但异戊基黄药用量却节省了87.5%,说明胺铵组合药剂的使用不仅可提高分选指标,而且降低药剂消耗量和药剂费用,具有可观的经济效益。

参考文献:

- [1] 汤雁斌. 难选氧化铜矿石选矿新技术进展[C]//第九届 中国选矿大会论文集. 马鞍山:《现代矿业》编辑部, 2009:96-99.
- [2] 李建荣. 对我国铜矿未来发展形势的思考[J]. 广东科技, 2012(3):143-143,145.
- [3] 陈从喜. 中国铜矿资源的综合利用与绿色矿业[J]. 国土资源情报, 2010(9):31-34.
- [4] 温胜来. 低品位氧化铜矿选矿技术综述[J]. 现代矿业, 2010, 26(2):57-59.
- [5] 毛素荣, 杨晓军, 何剑, 等. 难选氧化铜矿的处理工艺与前景[J]. 国外金属矿选矿, 2008, 44(8):5-8, 20.
- [6] 东川矿务局中心试验所, 东川矿务局四分矿选厂. 乙二胺磷酸盐浮选难选氧化铜矿石的工业试验[J]. 有色金属(选矿部分), 1975(9):36-40.
- [7] 东川矿务局中心试验所, 东川矿务局四分矿选厂. 乙二胺磷酸盐浮选东川氧化铜矿的工业试验[J]. 有色金属(冶炼部分), 1975(2):8-11.
- [8] 胡绍彬. 消除矿泥对汤丹难选氧化铜矿浮选影响的研究进展[J]. 云南冶金, 1999, 6(3):15-18.
- [9] 胡绍彬. 乙二胺磷酸盐浮选东川氧化铜矿石的生产实践[J]. 云南冶金, 1981(2):27-29, 45.
- [10] 张文彬, 杨汉科, 王德华, 等. 混合铜矿浮选中使用硫酸铵的效果[J]. 有色金属, 1973(2):26-30, 39.
- [11] 张文彬. 铵盐作调整剂在矿石浮选中的应用研究现状[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997(S1):54-55.
- [12] 杨瑞瑛. 混合调整剂的应用[J]. 有色金属(选矿部分), 1982(3):10, 18-19.
- [13] 蒋太国, 方建军, 张铁民, 等. 铵(胺)盐对氧化铜矿硫化浮选行为的影响[J]. 矿产保护与利用, 2014(1):15-20.
- [14] 文姬. 四川会东难处理氧化铜矿浮选工艺及机理研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2012.
- [15] Y. Wen, J. J. Fang, Y. B. Mao, et al. Flotation of a refractory copper oxide ore using ammonium bicarbonate as activator[J]. Advanced Materials Research, 2012(13):969-974.
- [16] 昆明理工大学. 基于铜矿物硫化浮选体系的铵-胺耦合活化方法:CN201210201300.7[P]. 2012-9-26.